

シリコンバレーでの我が半生—新製品開発にかけて

フェデリコ・ファジン

子どもの頃

私が思い出す限り、私は機械の虜でした。私はイタリアで育ちましたが、5歳の頃、私が住んでいた町の道路工事に巨大な蒸気ローラーが使われているのを初めて目にしました。本当に蒸気で動いている巨大な機械を見て私は興奮し、ローラーの運転手さんについていきたくまりました。私は車や、バイク、蒸気機関車などを見ると好奇心の固まりになりましたが、特に飛行機を見るといつも興奮したものです。私は大人になったらパイロットになりたいと思いました。11歳の時、初めてゴムバネを使った模型飛行機を飛ばしている人を見ました。この時まで、自分で飛行機の模型を組み立て、実際に飛ばすことが出来るとは夢にも思っていなかったもので、私は非常に驚きました。同時に、自分でも模型を作ってみようと思いたちました。「大人になるのを待たなくても、今すぐ空を飛べるのだ」と、この時私は思ったのです。もちろん、私自身が大空を飛べるわけではありませんが、自分で作った模型が空を飛ぶのを見るのは、どんなにわくわくすることでしょう。

私は自分の目で見ただけの記憶だけをたよりに、家にあったものを使って模型飛行機を組み立ててみました。航空力学については何も知らずに作ったのですから、この飛行機が飛ぶわけがありません。でも、幸運なことに、以前模型飛行機を飛ばしていた人を見た場所に自作の飛行機を持って行くと、その人が自転車に乗ってやってきました。今考えると、この人はおそらく20代の青年だったでしょうが、子どもの私にはとても年をとっていたように思えました。私の持っていた飛行機に気付くと、この人は立ち止まり、じっと見つめました。私がどうやって作ったかを説明すると、この人は笑い出しました。こんなに変わった飛行機を見たのは初めてだったのだと思います。それでも私に同情して、どこで材料を買えば良いかなど、色々なことを教えてくれました。私はすぐに模型飛行機の作り方の本を買いました。自分の小遣いで本を買ったのはこの時が初めてでした。私は夢中になってこの本を読みました。こうして出来上がった2作目は30メートルまっすぐに飛んだ後、墜落しましたが、それでも私はこれを処女飛行と呼びました。3番目の飛行機は、うまく飛ばすことが出来、私は空を征服したと思いました。12歳の時でした。

私はハイスクールを卒業するまで、色々なことに情熱を傾けましたが、何かに熱中した経験は、この模型飛行機作りが最初だったと思います。しかし、このように趣味に熱中することが将来役に立つとは、大人になるまで全く気付きませんでした。今、考えると模型飛行機作りの中には創造的な仕事の要素が全てあるのです。まず、どのような飛行機にしようかというアイデアが生まれ、その特徴を頭の中で描き、次に作成計画を立て、材料を買い集め、組み立て、テストして、結果を楽しむという、創造のプロセスは模型作りにも、後年私が携わったプロジェクトにも共通しています。私にとって模型飛行機を設計し、組み立てることは趣味以上のものでした。当時私の頭の中は飛行機のことですべてでしたから、時間があればいつでも決まって模型を作りました。12歳の時、左目に大けがをしパイロットになる夢を諦めなければなりませんでしたが、代わりに、私は本物の飛行機の設計者になる決心をしました。

そこで、テクニカル・ハイスクールに行こうと思い、生まれ故郷のビチェンツァにあるインスティテュート・ロッシに入学しました。ここで航空工学を学ぶつもりだったのですが、残念なことに私が入学して1年後に航空工学のコースがなくなってしまいました。それで、次善の策として無線技術の勉強をすることにしました。実を言うと、無線操縦の模型飛行機を作りたいという気持ちもあったのです。

私は学校の成績が良く、5年後に卒業した時は、学校で1番でした。ハイスクール時代に、私はコンピュータと物理にも関心を持ち、多くの本を読みました。

仕事に就いた頃

オリベッティ社に入社したのは、まだ19歳になる前でした。私はミラノ近郊のボルゴロムバルドの電子研究所でアシスタント・エンジニアとして働きました。1960年当時、電子計算機を設計・製造していたのは、イタリアではオリベッティ社のみでした。ここでの仕事が、私にとって最初の仕事となりました。私は新しいことを学び、収入を得て、独り立ち出来ることをとてもうれしく思いました。2ヶ月訓練を受けた後、私は小さな電子計算機の設計・製造をする小グループに入りました。演算ユニットはすでに設計が終わり、一部製造が始まった段階にありましたが、残り(命令セット、命令制御装置、磁気コア・メモリ、入出力サブシステム)は全てこれからでした。

6ヶ月経たないうちに、私はプロジェクト・リーダーに指名され、4人のアシスタントを持つことになりました。その時私はまだ19歳で、アシスタントの方が全て年上でしたから、何とも言えない満足感を覚えたものでした。私は小型コンピュータの設計を終え、1961年の末には稼働させることが出来ました。このコンピュータには、ダイオードとゲルマニ

ウム・トランジスタで出来たエクスクルーシブ NOR ゲートを使用しました。当時、スピードの速いシリコン・トランジスタはまだ値段が高く、また、集積回路もまだ市販されていなかったのです。4,000 ワードの磁気コア・メモリを使用したこのコンピュータは、キャビネット位の大きさと高さが 1.8 メートル、幅が 0.5 メートルあり、約 100 個のプリント基板を搭載していました。

それから9年後に、遠い外国で妻をとめない、世界初のマイクロプロセッサの開発に従事することになるとは、当時は夢にも思いませんでした。このマイクロプロセッサは、私が作ったコンピュータとほぼ同じ能力(実際は2倍の速度)を持ちながら、たった1個のプリント基板しか搭載していません。言い換えればプリント基板の性能が 100 倍以上上がったこととなります。

1961 年の夏に、私は再び学校で勉強したいと思うようになりました。私はトランジスタの働きを十分理解したいと思い、固体物理学を学ぼうと思いました。また、数学や物理学の理論をもっと知りたいと思ったのです。1961 年の末に私はオリベッティを退職し、故郷ビチェンツァから遠くないパドヴァ大学で物理学のコースを取りました。

大学生活の思い出は非常に楽しかったことばかりです。私は新しい知識を得ることに夢中でしたから、成績も非常に優秀でした。エレクトロニクスをはじめとする多くの学科で、試験に合格するために必要とされる以上の勉強をしました。毎日午後になると図書館で勉強に熱中していた日々は今では楽しい思い出です。特に、物理学の新しい概念を初めて理解出来た時、また、難解な問題が解けた時の喜びは格別でした。

1965 年の末には、物理学の博士号を取得した上、最優秀学生の栄誉を得て卒業し、再び社会人になる気でいましたが、パドヴァ大学から大学に残って研究を続け、また教鞭もとるようにと勧められたため、論文を書き始めました。しかし、1学期経ったところで私は大学を去る決心をしました。大学での研究ペースが遅すぎて私には合わなかったのです。ちょうどその頃、オリベッティ時代の上司がミラノ近郊で新しい会社を設立したところだったので、その会社に入社することにしました。CERES という会社で、薄膜回路を製造する傍ら、GMe(ジェネラル・マイクロエレクトロニクス社)のイタリア代理店も兼ねていました。GMe は、フェアチャイルド・セミコンダクタ社の子会社で、世界で最初に MOS 集積回路を製造した企業です。CERES での私の役割は、GMe とのビジネスを円滑にすることでしたから、MOS 集積回路の研修を受けるために、入社後間もなくカリフォルニア州サンタクララに1週間派遣されました。

シリコンバレーとの出会い

私は生まれて初めて大西洋を渡り、アメリカに着きました。当時、カリフォルニアは映画産業だけではなく、エレクトロニクス産業のメッカとしても地歩を固めつつありました。1966年の時点では、ヒューレット・パッカード社やフェアチャイルド・セミコンダクタ社等がすでに有名になっており、憧れの地に着いたことで私の胸は高鳴っていました。研修コースの講師はジム・イマイで、当時はGMeの技術者でした。彼は、3年後にはビジコン社の顧問として、最初のマイクロプロセッサ 4004 の開発プロジェクトとなった電卓チップ・セットの開発をインテルに依頼するように勧めることとなります。偶然とはいえ、私はイマイとの出会いに人生の不思議を感じます。

研修では当時開発されたばかりのMOS技術について学びましたが、この研修を通して、サンフランシスコ湾近辺での人々の働きぶりを垣間見たことの方が、その後の私の人生に大きな意味を持ちました。私が感銘を受けたのは、ここでは最も大切にされる人が技術者であり、科学者であり、起業家であって、故国イタリアのように政治家や物知り顔をした教養学科の教授連中ではないということでした。私はカリフォルニアこそが自分がいるべき場所だと、その時思ったのです。必ずまた、ここに来ようと思いました。いつどのようにして来るかは分かりませんでしたが、どんなことがあってもカリフォルニアに来て仕事をしようと固く心に決めたのです。

イタリアに戻ると、私たちはGMeに100ビットMOSダイナミックシフト・レジスタをいくつか注文しました。それは当時、最も進んだ製品だったのですが、結局手元には届きませんでした。GMeには製造出来なかったのです。こうして私のGMeのエージェントという立場は意味を失いました。私は、他のプロジェクトに配属されましたが、9ヶ月後にCERES社を去り、SGSフェアチャイルド社(現在のSGSトムソン社)の新しい研究所に入社しました。そこでは、私がMOS技術を多少経験していたので、MOS集積回路の製造プロセス技術を開発するようと言われました。ゼロから出発して、6ヶ月経たないうちに、私は二人のアシスタントの協力を得てSGSの最初のMOS製造プロセスを開発し、市販用の回路を2個設計しました。その後、MOS開発グループのリーダーになりました。

1967年12月のある日、私は研究開発部長に呼ばれました。部長は私に英語で話しかけてきました。私に英語が通じることが分かると、部長はカリフォルニア州パロ・アルトのフェアチャイルド・セミコンダクタ社に半年間、技術者交換プログラムの一員として行く気はないかと尋ねました。私は即座にイエスと言いました。つい最近エルビアと結婚し、新しいアパートに引っ越したばかりでしたが、そんなことはどうでも良かったのです。世界で最も進んだ半導体企業であるフェアチャイルド社の有名な研究所で働くと考え

ただで、私は胸の高まりを抑えることが出来ませんでした。ついに、カリフォルニアに戻るチャンスがきたのです。

私は 1968 年 2 月にカリフォルニアに着きました。冷たく霧の多い北イタリアを離れ、太陽がさんさんと輝き果物がたわわに実るバレーに着いた時、エルビアと私は天国に来たかと思いました。フェアチャイルドでの私の初仕事は、従来使用していたアルミニウムに代えて、多結晶シリコンのゲートを使用した自動調心 MOS トランジスタを作る新しい処理技術を開発することでした。シリコンを使った MOS ゲートの電極は、ベル研究所ですでに実証済みでしたが、その方法は集積回路の製造には向かなかったのです。わずか 5 ヶ月で、私はシリコン・ゲート・テクノロジーと呼ばれる新しい処理技術を開発し、それを使って集積回路を製造しました。この回路は 8 チャンネルのアナログ・マルチプレクサでしたが、そこで使用したデコーティング・ロジックはアルミニウムを使う技術では信頼性に問題があったのです。3708 と呼ばれたこの回路は 1968 年中に市販されましたが、多結晶シリコン・ゲートを使ったものとしては世界初の集積回路でした。

シリコン・ゲート・テクノロジーによって製造する集積回路はアルミニウム・ゲートのものより速度が 5 倍近く、その上、面積が半分ですみ、電流のリークが少なく、長時間信頼性が持続しました。電流のリークと信頼性の問題は、MOS テクノロジーのアキレス腱と言われていました。シリコン・ゲート・テクノロジーの使用によって、数年後には高性能半導体メモリや、電氣的にプログラム出来る不揮発性メモリ、そして世界初のマイクロプロセッサである 4004 の開発へと道が開かれました。また、シリコン・ゲート・テクノロジーは大規模集積回路の中核的な技術となり、今日では世界中で生産されている集積回路の 90% 以上がこの技術を使って製造されています。

1968 年 6 月に、フェアチャイルド・セミコンダクタ社は SGS フェアチャイルド社の持ち株を売却する決定を下しました。私はフェアチャイルドにとどまるように言われ、喜んでこの申し出を受けました。フェアチャイルドの社員として最初に出勤したのは 1968 年 7 月 1 日でした。その日、研究室ではボブ・ノイスとゴードン・ムーアがフェアチャイルド社を辞めて、新しい会社を設立するという噂でもちきりでした。二人の幹部が退社したことは、すぐに正式に確認されました。その数日後、今後はアンディー・グローブが新会社に加わり、1 週間後には私の直属の上司であったレス・ヴァダズも辞めていきました。私がフェアチャイルド社に入社して 2 ヶ月も経たない内に、20 人以上の社員が辞めて新会社の方に移っていきました。このような経過を経て設立されたのがインテルだったのです。

私の上司、ヴァダズが辞めた時、私はすぐにインテルがシリコン・ゲート・テクノロジー

を使って生産を始めるであろうと思いました。私が多結晶シリコンの蒸着を依頼している専門技術者がインテルに雇われたことを知り、私の疑惑は確信に変わりました。どうやら私はシリコン・ゲート・テクノロジーを使った熾烈な競争に巻き込まれたようです。私はどうしても最初に市場に出る製品は自分の手で作りたいと思いました。その後の6ヶ月で私はプロジェクトを完成し、出来上がった 3708 を市場に一番乗りさせることに成功しました。しかし、多くの有能な人材を失ったことでフェアチャイルド社が急速に失速していくのを私は感じていました。私自身、フェアチャイルドに対する夢が覚め始め、同社を辞める時期が来たことを感じ始めていたのです。

4004

1970 年の初めに、私はかつての上司レス・ヴァダズに会い、インテルに就職できそうか打診してみました。私はプロセスの開発から集積回路の設計の方に移りたいと思っていましたし、また、やり甲斐のあるプロジェクトに就きたいと思っていました。レスは私にコンピュータやロジック設計の知識があるかと聞きました。私がオリベッティでコンピュータの仕事をしていたことを話すと、インテルはすぐに私を雇ってくれました。そこで新しいプロジェクトに加わりましたが、このプロジェクトについてはなかなか全容を明かしてもらえませんでした。レスはただ、日本の顧客のために4個のチップの設計をしていて、ランダム・ロジック設計が必要なチップもあるとしか言いませんでした。

1970 年4月に私はインテルで新しい仕事に就きました。このプロジェクトは社内では「ビジコン・プロジェクト」と呼ばれていました。ビジコンは日本の電卓メーカーで、インテルはビジコンから、高級電卓ファミリ用に4個のチップからなるセットの開発を依頼されていたのです。当時、テッド・ホフ(エドワード・ホフ)がアプリケーション・エンジニアリングのマネージャーで、スタン・メイザー(スタンレー・メイザー)がその下でアプリケーション・エンジニアとして働いていました。メイザーによると、ビジコン社がインテルを訪問したのは 1969 年の半ばのことで、同社の電卓用論理回路を小規模および中規模に TTL 集積回路によってシリコン化して欲しいと依頼したそうでした。

ビジコンの技術者による設計は7個の複雑なチップに区分されていました。インテルのマーケティング課から意見を聞かれたホフは、設計が複雑すぎると言いました。ビジコンの設計は、当時最新の電卓に最もよく使われていた設計で、基本的には ROM ベースで、マクロ命令によりプログラミング可能で、シフト・レジスタ・メモリをベースにした 10 進数コンピュータでした。ホフはもっと簡単な方法があると考えました。インテルの RAM メモリ技術を使えばビジコンの設計よりも柔軟で汎用性があり、シンプルな小型コ

ンピュータを設計できるとホフは主張しました。

ビジコンの技術者は当初、ホフの考えを受け入れないように思われましたが、ホフは当時インテルの社長であったボブ・ノイスの支持もあって、独自の設計を続けました。最終的には4個のチップからなるファミリにすることに決まり、1969年10月にビジコンの経営陣もインテルの提案どおりにすることに同意しました。メイザーは私にチップ・セットの仕様と、実現可能性検討のために作られた回路設計の断片を見せ、その翌日ビジコンの技術者、マサトシ・シマ(嶋正利)が日本からプロジェクトの進み具合を見にやってくると言いました。嶋は1969年にインテルに来たチームの一員だということでした。

翌日、スタン・メイザーと私はサンフランシスコ空港に嶋を出迎えに行きました。嶋は仕事の進み具合をチェックしに来たから、出来たものを全て見せてほしいと私に言いました。会社に着くと、私は前日にメイザーから預かった資料を渡しましたが、嶋はざっと目を通すと怒り始めました。私が渡したものは全て、10月に帰国する前に見たものと同じだと言うのです。彼がインテルを去った6ヶ月前から、全く進展がないのはどういうことだと、彼は非常に立腹しました。スケジュールの遅れは何ともし難く、取り返しがつかないところまで来ていたのです。

嶋は「私はチェックをするためにはるばる日本からやってきた。来てみたらどうだ。何もチェックするものがないではないか」と繰り返し言いました。嶋は私の責任だと思ったらしく、「あれから6ヶ月も経ったのに、なぜ何の進展もないのだ」と責め続けます。私は前日にインテルに入社したばかりなので、たった1日では進展は無理だと繰り返し言いましたが、嶋は折れる気配がありません。1週間して、ようやく嶋も私達二人が運命共同体だということに気づいたようです。私も嶋と同様に、一刻も早くチップを仕上げたいと思っていたのです。嶋の助けがあれば、少しは早く出来るかもしれません。私にとっては、仕事に取り掛かった翌日に、すでに予定より6ヶ月遅れていたのです。このようなことは後にも先にもありませんでした。

それから私は1日12時間から16時間、死にもの狂いで働きました。出来る限りのことをして遅れを取り戻そうとしたのです。最初に、私はチップ・セットのアーキテクチャ上の残っていた問題を解決しました。次に、設計様式の基本を決めましたが、この時、それ以前の仕事の多くを見直しました。最後に、ロジックと回路設計を始め、4個のチップのレイアウトを決めました。私は、シリコン・ゲート・テクノロジーを使ったランダム・ロジック設計の方法を新たに開発しなければなりませんでした。以前にはこのような方法はなかったのです。

私はこのチップ・セットを「4000ファミリ」と呼びました。それは4ビットのプログラミング

可能な入出力ポートがついた 2KbROM4001、4ビットの出力ポート付き 320 ビット RAM4002、入出力装置として 10 ビットの逐次入力並行出力の静的シフト・レジスタ 4003、そして4ビットの CPU4004 で構成されていました。

最初に設計とレイアウトをしたのは 4001 でした。最初に出来上がった 4001 (これをランと呼びます) は 1970 年 10 月に届きました。この時、回路は完璧に作動し、私の不安もかなり解消しました。11 月に 4003 が出来上がり、期待した通りに稼働しました。同じ月に 4002 も出来上がりました。4002 には小さなエラーがありましたが、すぐ診断して修正することが出来ました。最後の 4004 は、1970 年が暮れる数日前に出来上がりました。2インチのウェーハをウェーハ・プローバに装着した時、私の手は震えていました。いよいよ決定的な瞬間がきたのです。4004 がなければビジコンの電卓は出来ません。それに 4004 は他の3個のチップと比較しても、はるかに複雑だったのです。

最初の回路をテストしましたが、全く動きません。次の回路も同じで動きませんでした。私の息遣いは荒くなり、汗が出始めました。その時、実験室には私以外は誰もいなかったもので、ほっとしたのを覚えています。「どうしてこんなことになったのだ」と私は自問しました。ついに、顕微鏡の下にあったウェーハのマスク層が1枚、ウェーハ処理の工程で誤って処理されていないことに気付きました。「これで何とか信用を落とさずにすんだ。設計は間違っていないなかったのだ」と思うと、私はやっと普段どおりに呼吸出来るようになりました。それが分かるまでに 30 分かかりましたが、それは私の人生で最も長い 30 分でした。

それから3週間後の 1971 年1月に処理し直したチップが届きました。私がそれを手にしたのは夕方でしたが、私はその晩、テストすることにしました。うまく稼働してくれてバグを全部見つけることが出来れば、この次に作る製品は出荷出来ると思い、祈るような気持ちでテストを始めました。回路の色々な部分が動くのを確かめながら、私はだんだん興奮してきました。その時、実験室の中は私一人でした。実験機具がたてるブーンという音の他は何一つ物音がしない中で、私は一人で喜びをかみしめていました。午前3時頃、ほとんどの部分の検査が済み、成功を確認出来ました。その時私は極度の疲労感とともに非常な幸福感に浸っていました。家に着くとエルビアが目を覚まし、「うまくいったの」と聞きました。「成功だ」と私は答えました。その晩、世界初のマイクロプロセッサが誕生したのです。

1971 年3月には、嶋が日本で開発した電卓用のソフトウェア (今日ではファームウェアと呼んでいます) を内蔵した ROM チップ4個を入れて、全てのチップが出来上がりました。すぐに日本から良いニュースが届きました。「全て完全に機能している」というの

です。これで大量に生産することが可能になりました。アイデアの段階から製品になるまでにかかった年月は 11 ケ月でした。相当な早業と言えるでしょう。

マイクロプロセッサが実現した以上、私は電卓以外にも色々なアプリケーションにチップを使えると思いました。ところが、インテルの経営陣は 4000 ファミリが電卓にしか使えないと信じ込んでいたので、私に同意しませんでした。さらに、このチップはビジコン社との独占契約に基づいて設計されたので、ビジコンが独占権を持っていたのでした。

間もなく、4000 ファミリが他のアプリケーションにも使用出来ることを証明するチャンスがやってきました。製造テスターの必要が生じたのです。テスターは明らかに電卓ではありませんから、私は 4004 をテスターの主制御装置に使用することにしました。当時インテルのダブ・フローマンとベンチコフスキーによって発明されたばかりの電氣的にプログラミング可能な ROM (EPROM) チップを使って、私はこのプロジェクトのためのハードウェアとファームウェアを設計しました。単発プロジェクトには合わないので、マスク型の 4001 は使用しませんでした。

この仕事を通して、私は 4000 ファミリを使って何が出来、何が出来ないかが分かるようになりました。テスターが完成すると、それを武器に私は 4000 ファミリの様々なアプリケーションを働きかけました。ボブ・ノイスにはビジコンが独占販売権を手放すことを条件に価格面で譲歩してはどうかと勧めてみました。(嶋からビジコンが市場で苦勞していて、競争に勝つためにコストを下げなければならないことを聞き及んでいたのです。)

1971 年の夏の間、インテルの経営陣はビジコンの説得に成功し、他社への販売が可能になりました。そこで、インテルは 4000 ファミ리를広く市場に出す決定を下しました。1971 年 11 月には、今では MCS-4 (マイクロコンピュータ・システム 4-ビット) として知られている 4000 ファミリの広告がエレクトロニック・ニュース誌に載りました。「エレクトロニクスに新しい時代を告げる。プログラミング可能な超小型コンピュータが 1 チップに」これには誇張がありますが、私はこの広告に限って誇張が許されると信じています。

その他の製品開発

インテルで次に私が取り組んだプロジェクトは 1201 と呼ばれる世界初の 8 ビット・マイクロプロセッサの開発でした。1201 は 1972 年 4 月に市販されました。1201 の歴史を振り返ると興味深いことがあります。1969 年の 12 月に、インテルのシフト・レジスタの顧客であるコンピュータ・ターミナル社 (CTC) の幹部がインテルを訪問しました。同社はテ

キサス州サンアントニオに本社があります。CTC の依頼は、インテルが販売していた製品-i3101 と呼ばれているバイポーラ 64 ビット RAM-を修正して、同社の TTL マイクロプロセッサ用に使用する 4x16 のスタック・メモリを作って欲しいというものでした。同社はこのマイクロプロセッサを同社の新世代インテリジェント・ターミナルであるデータポイント 2200 に取り付けようと考えていました。

ホフとメイザーが同社の依頼を検討した結果、スタック・メモリを含む同社のプロセッサは、当時提案していた 4004 と比較して、それほど複雑ではないという結論に達しました。二人は単一チップで8ビットのマイクロプロセッサを作ることが可能だと考えました。そこで二人が仕様書を書き、CTC はインテルに開発を依頼する契約を結びました。CTC 8ビット・マイクロプロセッサのアーキテクチャを実現するカスタム品の開発契約です。

私がインテルに入社する数週間前に、1201 の設計は始まっていました。このプロジェクトの技術者はハル・フィーニーで、私はこのようなプロジェクトが進んでいることを入社間もなく知った時、正直に言うのがっかりしたのを覚えています。インテルが開発している1チップの CPU は 4004 だけではなかったと知り、私はフィーニーに先を越されると思いました。私は4個のチップを設計しなければならず、しかも 4004 は最後に設計することになるのに対して、フィーニーの方はたった1個のチップを設計すれば良かったのです。ところが、結果は私の心配とは逆になりました。

さまざまな事情があって、1201 の設計は開始間もなく休止になり、1971 年1月に再開した時は、私が責任者になっていました。フィーニーは私の下で働くようになり、私達二人は 1201 の設計を完了しました。フィーニーは、私が 4004 を作ったのと同じ方法を取って設計の細部を担当しました。

アーキテクチャを見る限り、1201 は 4004 と非常に似ていて、ロジックと回路設計は、4004 の経験があったのでそれほど難しくはありませんでした。しかしながら、8ビットの CPU ということで、4004 よりは多くの(40%多い)トランジスタが必要でした。そのため、チップのサイズを大きくする必要があり、製造コストがかかりました。

1201 の設計とレイアウトは 1971 年を通して進展し、1972 年の初めには最初のウェーハが出来上がりました。小さなエラーが少しありましたが、すぐにマスクを作り直して修正しました。その間、フィーニーはハンク・スミスが率いる新しいマーケティング課に配属になり、最初のマイクロプロセッサの発売に尽力しました。

1201 プロジェクトで唯一の困難な時期は、プロジェクトの終了間際の 1972 年4月でした。私はチップの特性評価をしている時に、高温下で断続的なエラーがあることに気

付きました。当時、1201 はすでに「8008」という名で発売されたところだったので、私は非常なプレッシャーを感じました。顧客は 1201 を欲しがりましたが、インテルとしては信頼性が不完全だったので出荷出来なかったのです。数日間、私は何が起きているのか分かりませんでした。1週間かけて必死になって突き止めた結果、問題を見つけ出し、解決することが出来ました。それは、デバイス物理学、回路設計、レイアウトにまたがる難しい問題でした。レジスタ・ファイルのトランジスタ・ゲートに蓄積された電荷が、基板への注入によってリークしていたのです。最終的には、回路とレイアウトを修正する方法を見つけ出し、この問題を完全に解決することが出来ました。こうして 8008 をイライラして待っている顧客のもとに送り出すことが出来ました。

1971 年の夏の終わりに、私はハンク・スミスとともにヨーロッパに赴き、間もなく発表予定の 4000 ファミリーと 8008 の技術セミナーを開きました。顧客を訪問したのは初めてでしたが、私にとって貴重な体験となりました。これら初期のマイクロプロセッサのアーキテクチャや性能に関する多くの批判を受けましたが、妥当な批判もありました。コンピュータの導入に熱心な企業ほど、批判も厳しいものがありました。

帰国してから、私は 8008 よりも高性能で顧客が望む多くの機能をもった 8ビットのマイクロプロセッサの製造方法を考えつきました。最も重要なスピードを上げること、それからインターフェースを向上すること、割り込み構造の改良、それに二三の新しい特色を追加することなどです。私の構想は、最初の 4Kb のダイナミック・メモリ製造用にインテルが開発したばかりの高速 n チャンネル MOS プロセスを使用した新しいチップのアーキテクチャでした。1972 年の初頭まで、私はこの新しいチップの開発を始めるように経営陣の説得を試みましたが、経営陣はまず MCS-4 や 8008 の市場での反応を見てからにしたい意向でした。私は時間を浪費しているのを感じて不満でした。当時、マイクロプロセッサの開発にかけていたのはインテルだけではありませんでした。特に、テキサス・インスツルメント、ロックウェル、モトローラ等の企業が熱心にマイクロプロセッサのプロジェクトに取り組み、熾烈な競争があったのです。

1972 年の夏の終わりに私はついに新しいプロジェクトを始める許可を得ました。私が監督するこのプロジェクトのリーダーとして、私は嶋を日本から呼びました。嶋は 1972 年 11 月に到着しましたが、それまでに私は基本設計と実現可能性の検討を完了し、細部の仕事がすぐに始められるように準備していました。新しいマイクロプロセッサは 8080 と名付けられ 1974 年 3 月に発売されましたが、すぐに市場でも大成功を収めました。1974 年の初めまでに市場は新しい趨勢を受け入れ、マイクロプロセッサはインテルの顧客によって何百もの製品に使用されるようになっていたのです。しかしながら、

4004 も 8008 もパワーが不足していたため、使用できないアプリケーションも多くありました。パワー不足を解消してマイクロプロセッサの市場を大きく広げたのは、8008 に次いで開発された 8080 でした。8080 には、4004 や 8008 に期待されながら出来なかった機能がありましたから、8080 の登場とともにマイクロプロセッサの時代が本格的な幕開けをしたと言えると思います。8080 以降は、マイクロプロセッサの価値に疑念を抱く人はいませんでした。

私が携わった 4004、8008、その他のプロジェクトが成功し、また、インテルが急成長したため、私は責任の重い職務に就くようになりました。1974 年の初めに私はダイナミック・メモリを除く全ての MOS 集積回路の設計を統括するマネージャーに昇進しました。私の課には 80 名の部下がいて、十指に余るプロジェクトが同時に進行していました。そこでさまざまな業績を上げましたが、中でも忘れられないのは 1972 年にマース・マネー社のために私が設計したカスタム回路です。この回路は、ランダム・ロジックとチップ上の EPROM を組み合わせてコインを読み取る世界初の装置でした。1972 年には、この他にも 4004 をスタンダード・メモリ、特に EPROM にインターフェースするチップを設計しました。EPROM は、ROM 仕上げにかけられる時間と費用が限られている少量生産用のアプリケーションに適しています。1973 年には 4004 を大幅に改良した 4040 を設計しました。さらに 1974 年には、ディック・パシュレーと共同で世界初の高速 n-チャンネル 5 ボルトの静的 RAM、2102A を開発しました。低電圧の空乏負荷トランジスタを n チャンネル MOS テクノロジーと組み合わせることで、私達はアクセス時間を 80 ナノ秒にすることに成功しました。ちなみに以前は 300 ナノ秒にすることも難しかったのです。

インテルに在籍していた 5 年間は、技術者として最も充実した時期でした。私自身が設計したか、もしくは設計を監督した集積回路は、20 種類以上が市販されましたが、それら全てを覚えているわけではありません。このように、技術面でも経営面でも多くの業績を上げたのですが、1974 年の夏が終わる頃には、私はなぜか落ち着かない気分になっていました。インテルは巨大な企業に成長し、私は息苦しさをを感じるようになってきたのです。インテルはもともとメモリ製造を目的として設立されたので、マイクロプロセッサはメモリの販売を促進するものとして位置づけられていました。私はそれも気に入らなかったのです。

転職

インテルで過ごした期間に私は多くの業績を上げましたが、だからといって完全に満

足りていたわけではなかったのです。多くのアイデアを実現するためには、意見を主張し無理押しする必要がありました。経営陣の主な関心事はメモリでしたから、私は自分が正当な評価を受けていないように感じていました。その頃、自分で会社を設立してみよう、マイクロプロセッサ専門の会社にしよう、という構想が私の頭の中に浮かんできたのです。1974年当時でも、シリコンバレーは多くの起業家が集まる場所でした。6年前にノイスとムーアがインテルを設立したように、私も会社を設立しても良いのではないかと私は思いました。私は上司の一人であるラルフ・ウンゲルマンに「マイクロプロセッサ専門の会社を設立することをどう思う」と聞いてみました。「やろうじゃないか」と、彼は即座に言ったのです。これといった計画があったわけではなく、誰にも声もかけずに、ラルフと私はインテルを辞め、ザイログ社を設立しました。

ロス・アルトスの中心にある商店街の中に私達はオフィスを借り、これから何をするのか計画を立てました。最初の製品として私が思いついたのは、1チップのマイクロコンピュータで、私はそれを2001と呼びました。2001はCPUだけでなく、全コンピュータ機能を1チップに搭載したコンピュータとなるはずでした。言い換えれば、私は8ビットのマイクロプロセッサとROM、RAM、入出力装置を1個のチップに集積し、シンプルで低価格のアプリケーション向け製品を実現しようとしたのです。

当時、このようなコンピュータはまだ市場に出ていませんでした。今ではこのようなチップのことをマイクロコントローラと呼び、多くの装置に組み込まれて大量に消費されています。しかし、熟慮した結果、私は2001の企画を取りやめました。自前のウェーハ製造施設を建設するためには何百万ドルもの費用が必要となりますが、そのような資金を調達出来る見込みがなかったからです。もし、自前の製造施設を持たなければ、通常の製造コストよりはるかに高い価格でウェーハを購入しなければならず、それでは企業間の価格競争に勝てないでしょう。2001のような製品は価格に敏感なのです。こういふ訳で残念ながら2001の構想は諦めなければなりませんでした。私は、それほど価格に敏感でない製品はないかと考えました。1974年12月の土曜日の朝、私はZ80の基本構想が浮かんだ時のことを今でもよく覚えています。私は勝ち誇ったようにラルフに言いました。「スーパー80を作ろうじゃないか」その時私の頭にあったのは、8080と互換性のある命令セットで、しかも8080よりはるかにパワーのある製品でした。

それから何ヶ月か、私はZ80の基本設計を練り、命令セットを開発し、実現可能性を検討しました。そのためには、インテルで私が高速メモリ用に共同開発した方法に似ている空乏負荷をもつ製造工程を用いました。構想の初期段階から、Z80は周辺チップを含めたファミリの一部として開発するつもりでした。ファミリには他に、プログラム可能

な並行入出力ポート、プログラム可能なカウンタ・タイマ、ダイレクト・メモリ・アクセス制御装置、逐次入出力制御装置から構成され、これらのチップにスタンダード・メモリを追加すれば、パワフルなコンピュータが製造出来るはずでした。

1975年4月までに、ラルフと私はエクソン・エンタープライズから50万ドルの融資を受けることが出来ました。エクソン・エンタープライズは、当時世界一の企業であったエクソンのベンチャー・ビジネスへの投資会社で、1975年当時ベンチャー企業に投資してくれる数少ない企業でした。1975年と言えば景気が後退していた時期で、多くのベンチャー・ビジネスへの投資会社は60年代後半から70年代初頭にかけて行った過剰投資によって深刻な影響を受けていました。マネーサプライが極度に落ち込んでいたのです。ちなみに1975年のベンチャー企業への投資額は全米で史上最低の1,000万ドルでした。ですから、いくらかの資金を得ることが出来たことを、私達は非常に喜んだのです。

1975年4月に、私は嶋をインテルから呼びZ80プロジェクトを進めてもらいました。その後の数ヶ月は、ラルフと私で総勢11名からなるチームを作りました。このチームはZ80マイクロプロセッサとソフトウェア付きの開発システムを開発し、その後残りの周辺チップを設計する予定でした。1976年3月には、Z80の機能が全て出そろい、開発システムもエミュレータ・ハードウェアではなく、実際のZ80で動き始めました。私達はこれらの仕事を全て11ヶ月でやり遂げたのです。しかも、かかった費用は30万ドル強でした。当時の水準で考えても、これは驚くべき快挙でした。

Z80の発表は1976年5月に行われました。エレクトロニクス・ニュース誌にカラー広告を出したのですが、そのタイトルは「80戦争」となっており、Z80と私が以前開発したインテル8080を比較して、Z80の優れた性能をアピールするものでした。

Z80は非常な成功を収めました。実際、あれから21年たった今日でも、Z80は大量生産されております。今までに10億個以上のZ80が生産され、製造元も世界中に点在しています。

Z80の開発をもって、私は技術者としてのキャリアに終止符を打ちました。ザイログ社の経営最高責任者として、急速に成長している同社の舵取りをすることに私は全エネルギーを注ぎ込みました。それからの人生を私は、起業家として、また、経営最高責任者としてシリコンバレーにハイテク企業を起こすことにかけています。

ザイログ社の歴史については、手短にお話ししましょう。多くの製品を手がけ、順調な時も困難な時もありましたが、初期のマイクロプロセッサにおいて、ザイログ社は重要な役割を果たしました。ザイログ社で、私は競争の激しいビジネスの世界で企業を経営

することの難しさを学びました。正しい判断もしましたが、間違っただ判断も数多くし、成功よりも失敗を通して多くのことを学びました。

1970年代の後半には、ザイログ社の支配的利権を持つエクソン・エンタープライズが、情報技術関係への投資を全てインフォメーション・システム・グループに統合する決定を下しました。この時、エクソン・エンタープライズは IBM を打ちのめし、情報ビジネスにおける巨人になるつもりだと公言したのです。私はこのようなことになるとは全く思っていませんでした。ラルフも私も独立した株式会社を設立しようと思っていたので、エクソン・インフォメーション・システムの一部になるなどとは思っていませんでした。もともとはエクソン・エンタープライズも私達の計画に同意していたのですが、同社はおそらく以前からこのような計画を練っていて、それが動き始めたとは思えませんでした。ザイログ社にとって、これは一大事でした。IBM がザイログ社ではなくインテルのマイクロプロセッサを最初のパソコン用に選んだ裏には、この1件があったと思います。この時の IBM の選択によって、ザイログ社の命運はつきたのです。私はエクソン・エンタープライズにザイログ社から手を引いて欲しいと頼みましたが説得に失敗し、1980年の終わりに失意のうちに退社しました。

この辛い経験から、卓越した技術もビジネスに成功するための一要素にすぎないということを知りました。また、最高の製品が必ずしも市場を席卷するわけではないことを学んだのです。

起業

その後の 17 年間に、私はさらに2社を共同で設立し、経営最高責任者を務めました。シグネット・テクノロジー社とシナプティクス社です。シグネット・テクノロジー社では、1984年初めにインテリジェント電話を開発し発売しました。この電話をパソコンに接続すると、パソコンが音声とデータのワークステーションの働きをします。計算機能よりもコミュニケーション機能を重視する経営者向けの製品です。

シナプティクス社の方は、カリフォルニア工科大学のカルバー・ミード博士とともに1986年に設立した企業で、私達は人工ニューラル・ネットワークとアナログ超大規模集積回路を使った学習システムの技術開発を始めました。6年間の研究の末、私達が達した結論は、ニューラル・ネットワークは既存の技術と比較して複雑なパターンの認識に優れているものの、複雑なアナログ超大規模集積回路の学習チップの設計を保証するには、アーキテクチャの共通性が不足しているというものでした。私達はニューラル・ネットワーク技術の専門知識を生かして、ヒューマン・コンピュータ・インターフェー

スの製品の開発をすることに決めました。そのために、コンピュータに触覚、聴覚、視覚といった感覚を持たせる研究を進めました。1995年には、シナプティクス社からタッチパッドを発売しました。タッチパッドは、まるでコンピュータの皮膚のように指で触られた場所を知覚する、新しいタイプの位置決め装置です。タッチパッドは大成功し、3年間で世界中で販売されているノートパソコンの50%に使用されるようになりました。タッチパッドのおかげでシナプティクス社も急成長し、成功しています。

また、シナプティクス社ではペンと特別なタッチパッドを使った漢字の入力装置を開発しました。手書きの漢字を認識する装置は、ニューラル・ネットワーク技術を利用していますが、驚いたことに実際に手で文字を書くよりも早い速度で入力出来るのです。つまり、この装置はユーザが漢字を書き始めるのと同時に読み取りを始めるので、通常半分くらいの画数を書き終わると、正しく判断してしまいます。ですから、ユーザは手書きの倍の速度で入力出来るわけです。

個人的には、私は今、色々なことに興味を持っています。脳の働きにも非常に関心を持ち、実際、何年か前には神経生物学の研究に4年かけて、自然の手によるこの素晴らしい創造物を理解しようとしていました。脳の研究を続けるうちに、私は人間の脳の中で最も神秘的な意識の領域に関心を深めていきました。意識とは、私達が知っていることを知る能力、私達が知覚器官から得た情報や頭の中で考えたことを基に、それらを視覚化したり何かを感じる能力のことです。これらのイメージは心の中のスクリーン上に描かれ、私達の頭の中にある、どこかまだ判明していない場所で理解されるのです。私達が意識について考えることはめったにありませんが、私達は意識を常に働かせています。もし意識がなかったら、自分が存在していることさえ気付かず、動いていても、それは夢遊病患者か自動人形の動きと変わらないのです。

それにしても意識とは一体何なのでしょう。どうすれば、複雑な機構を操作することで機械に意識を持たせることが出来るのでしょうか。もしそれが可能なら、意識を持ったコンピュータを作ることが出来るでしょう。もしかしたら人間以上に知能のあるコンピュータが出来るともかもしれません。その反面、もし意識というものが物質世界以外のところに存在しているのなら、そのような可能性を物理現象として説明することは困難になります。だとしたら、意識はどのように物質世界と結びついているのでしょうか。どうやって量子力学で説明出来るような物質と情報を交換出来るのでしょうか。

このような問いは物理学と形而上学の境界に関するものですが、私の父は哲学の教授でしたから、私にとっても身近な問いでもあるのです。

今、自分の半生を振り返ってみると、非常に思い出深く、また、実りの多い人生を送

ってきたことに感謝しています。特に、地球上で最も知的な刺激に満ちている場所であるシリコンバレーで人生の大半を過ごせたことを非常に幸運だったと思います。また、妻エルビアの心からの支援を受けられたことにも感謝しております。出来ることなら、私は残りの人生を人工知能の分野の研究にかけたいと思っております。知的なマシンを作る研究をすることで、逆に人間性への理解も進むのではないかと私は思います。また、このような研究を通して、人を人たらしめている人間の特性について学び、この素晴らしい宇宙における私達人間の役割を考察することが出来ると思います。もしかしたら、人間一人一人の心の奥深い部分に、宇宙(コスモス)の目的と結びついた深い精神の次元があるのかもしれませんが。このような発見が遠くない将来にあっても、私は驚かないと思います。